

Fermentasi Susu dengan Bakteri Asam Laktat untuk Meningkatkan Yield Krim Keju

Fermentation of Fresh Milk with Lactic Acid Bacteria to Improve Cream Cheese Yield

Fariz Nurmita Aziz*, Sirly Eka Nur Intan, Lutfi Purwitasari

Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang

*Korespondensi dengan penulis (fariznurmita@live.undip.ac.id)

Artikel ini dikirim pada tanggal 11 Juli 2025 dan dinyatakan diterima tanggal 30 Juli 2025. Artikel ini juga dipublikasi secara online melalui <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/tekpangan>. eISSN 2597-9892. Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang diperbanyak untuk tujuan komersial.

Abstrak

Krim keju merupakan produk susu fermentasi berbasis emulsi yang memiliki potensi sebagai pangan fungsional, terutama jika diperkaya dengan bakteri asam laktat (BAL) probiotik. Salah satu tantangan dalam produksi krim keju lokal adalah rendahnya rendemen (yield) dan ketergantungan terhadap starter impor. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan yield krim keju melalui fermentasi susu segar menggunakan kultur BAL dengan konsentrasi berbeda (0, 1, 3, dan 5%). Fermentasi dilakukan selama 24 jam pada suhu 37 °C dengan penambahan rennet sebesar 0,01% (b/v). Parameter yang diamati meliputi pH, kadar asam tertitrasi, berat hasil penyaringan, yield krim keju, dan jumlah BAL yang hidup. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi inokulum menurunkan pH dan meningkatkan kadar asam tertitrasi secara signifikan. Jumlah BAL tertinggi ditemukan pada inokulum 1% sebesar 9,16 log CFU/g, sedangkan 3% dan 5% masing-masing sebesar 8,68 dan 9,01 log CFU/g. Inokulum 5% menghasilkan berat krim keju tertinggi (223,2 g) dan yield maksimum (29,76%). Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan kultur BAL probiotik berperan penting dalam meningkatkan viabilitas mikroba dan efisiensi fermentasi untuk menghasilkan krim keju dengan rendemen yang tinggi.

Kata kunci: bakteri asam laktat, fermentasi susu, krim keju, mikrobiologi pangan, yield.

Abstract

Cream cheese is an emulsion-based fermented dairy product with high potential as a functional food, especially when enriched with probiotic lactic acid bacteria (LAB). One of the main challenges in local cream cheese production is its low yield and reliance on imported starter cultures. This study aimed to improve cream cheese yield through fresh milk fermentation using LAB cultures at various concentrations (0, 1, 3, and 5%). Fermentation was conducted for 20 hours at 37 °C with 0.01% (w/v) rennet addition. The parameters measured included pH, titratable acidity, cream cheese weight, yield, and LAB viability. Results showed that increasing LAB inoculum concentration significantly decreased pH and increased titratable acidity. The highest LAB count was observed at 1% inoculum (9.16 log CFU/g), followed by 5% (9.01 log CFU/g) and 3% (8.68 log CFU/g). The 5% inoculum produced the highest cream cheese weight (223.2 g) and yield (29.76%). These findings indicate that probiotic LAB cultures play a vital role in enhancing microbial viability and fermentation efficiency to produce high-yield cream cheese.

Keywords : *cream cheese, lactic acid bacteria, milk fermentation, probiotic, yield.*

Pendahuluan

Produk susu fermentasi semakin diminati oleh masyarakat karena kandungan fungsional dan manfaat kesehatannya. Beberapa diantaranya yoghurt dan keju yang digolongkan sebagai pangan fungsional karena mengandung senyawa bioaktif dan probiotik yang bermanfaat bagi tubuh (Saritaş et al., 2024 dan Companys et al., 2021). Adanya peningkatan kesadaran konsumen terhadap pangan sehat mendorong penggunaan probiotik secara luas dalam industri pangan, yang mengakibatkan konsumsi pada produk keju yang terus meningkat (Araujo et al., 2024). Keju krim (*cream cheese*) merupakan salah satu jenis keju bertekstur lembut yang dapat dihasilkan melalui fermentasi asam. Produk ini menarik untuk dikembangkan karena selain disukai konsumen, keju krim dapat berperan sebagai *carrier* probiotik dan memiliki karakteristik emulsi, sehingga fleksibel untuk dikombinasikan dalam berbagai makanan (Homayouni et al., 2018).

Di Indonesia, pengembangan keju krim masih memiliki tantangan tersendiri. Industri keju lokal hingga kini cenderung bergantung pada kultur starter bakteri asam laktat (BAL) impor, yang berdampak pada biaya produksi dan ketergantungan pasokan (Lu, 2019). Oleh karena itu, pemanfaatan kultur bakteri asam laktat (BAL) sebagai probiotik lokal menjadi salah satu strategi untuk mengurangi ketergantungan terhadap kultur starter komersial impor. Selain itu, diversifikasi produk susu menjadi keju seperti keju krim dapat meningkatkan nilai tambah susu segar dan daya saing industri pengolahan susu. Inovasi pengolahan susu menjadi produk bernilai fungsional seperti yoghurt, keju, dan es krim telah terbukti membuka peluang ekonomi dan meningkatkan pendapatan peternak melalui pengolahan pascapanen. Pengembangan keju krim probiotik berbasis BAL lokal sejalan dengan upaya ini karena dapat menghasilkan produk bernilai fungsional sekaligus memberdayakan sumber mikroba lokal (Aziz et al., 2023).

Salah satu indikator keberhasilan produksi keju adalah tinggi-rendahnya rendemen (*yield*) yang diperoleh. Rendemen mencerminkan efisiensi konversi susu menjadi curd padat, dan sangat dipengaruhi oleh kualitas susu, teknologi pengolahan, serta jenis dan konsentrasi kultur starter yang digunakan (Pretto et al., 2013). Penggunaan kultur BAL terbukti dapat meningkatkan rendemen/*yield* secara signifikan (Tologana et al., 2023). Tanpa penggunaan starter yang optimal, rendemen keju segar bisa kurang dari 15% dari berat susu (Hill et al., 1993 dan Adrianto et al., 2020). Pada proses fermentasi, koagulasi kasein dalam susu terjadi ketika pH turun mendekati titik isoelektrik kasein (pH 4,6), sehingga misel kasein menjadi tidak stabil dan membentuk gel (Atanasova et al., 2014 dan Haertlé, 2007).

BAL berperan penting dalam proses fermentasi melalui metabolisme laktosa menjadi asam laktat, yang menyebabkan penurunan pH secara bertahap. Jika aktivitas BAL tinggi, pH bisa turun lebih cepat hingga mencapai titik isoelektrik, membentuk curd yang optimal. Sebaliknya, fermentasi spontan oleh flora residu pasca pasteurisasi hanya menghasilkan asidifikasi lemah dan curd minimal.

Penggunaan kultur probiotik dalam pembuatan keju krim mampu meningkatkan efisiensi fermentasi dan rendemen produk akhir. Pada penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan *Lactobacillus* spp. dalam pembuatan keju dapat meningkatkan rendemen keju dan stabilitas struktur curd (Ong et al., 2006). Penelitian lain menemukan bahwa fermentasi terkontrol dengan kultur starter memperbaiki jaringan protein dan meningkatkan retensi air serta lemak dalam keju. Bahkan, retensi kelembaban dapat meningkat hingga 10–15% lebih banyak jika menggunakan kultur dengan konsentrasi yang lebih tinggi (Eminoğlu, 2024). Selain itu, *Lactobacillus* tertentu juga mampu menghasilkan eksopolisakarida (EPS) yang membantu meningkatkan viskositas dan integritas struktur protein, yang berdampak pada peningkatan yield dan tekstur yang lebih lembut (María et al., 2023). Penelitian ini memberikan pendekatan baru dengan memetakan secara simultan hubungan antara viabilitas BAL, pH, asam tertitrisasi, dan efisiensi produksi krim keju. Tidak banyak studi yang menyajikan hubungan holistik ini dalam konteks fermentasi krim keju berbasis susu segar dengan kultur lokal BAL. Selain itu, penelitian ini mendemonstrasikan potensi penggunaan kultur BAL lokal sebagai alternatif praktis terhadap starter impor dalam skala aplikasi lokal.

Berdasarkan uraian tersebut, perlu dikembangkan teknologi pembuatan keju krim probiotik dengan kultur BAL lokal untuk meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas gizi produk. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan rendemen keju krim berbasis susu segar melalui optimalisasi fermentasi menggunakan kultur bakteri asam laktat. Dengan memanfaatkan BAL dan variasi inokulum BAL (1%, 3%, 5%) diharapkan fermentasi berlangsung optimal sehingga menghasilkan curd dengan koagulasi sempurna. Upaya ini juga diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap starter impor, serta mendukung diversifikasi susu segar menjadi produk pangan fungsional berbentuk emulsi seperti krim keju probiotik.

Materi dan Metode

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret- Juni 2025 di Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian serta Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang.

Materi

Bahan yang untuk pembuatan krim keju adalah susu segar dari peternak lokal (Ungaran, Jawa Tengah). Bahan lain untuk pembuatan Krim Keju yaitu susu segar, gula, air mineral Aqua (Klaten, Indonesia). Bahan untuk uji bakteri asam laktat (BAL) yaitu de Man Rogosa, Sharpe Merck (Jerman), dan akuades. Alat yang digunakan untuk pengujian krim keju kandidat probiotik adalah Laminar Air flow Biobase (China) dan inkubator Memmert (Jerman).

Metode

Isolat dan Persiapan Kultur Starter

Kultur bakteri asam laktat (BAL) dalam bentuk kering beku diperoleh dari BRIN, Indonesia. Kultur starter BAL diaktifkan dan diperbanyak dengan ditumbuhkan dalam media MRS selama 24 jam pada suhu 37 °C. Suspensi kultur kemudian disentrifugasi menggunakan sentrifus berpendingin (Beckman J-6B, Jerman) untuk mengkoleksi sel.

Pembuatan Krim Keju

Krim keju diproduksi dengan mencampurkan 500 mL susu segar dengan 250 mL krim, kemudian dilakukan pasteurisasi pada suhu 65 °C selama 30 menit. Setelah itu, campuran didinginkan hingga suhu 37 °C. Kultur starter dengan konsentrasi berbeda (0%, 1%, 3%, dan 5%) dan rennet sebanyak 0,01% (b/v) kemudian ditambahkan. inokulum dengan tingkat populasi bersekitar 7 log CFU/mL. Proses fermentasi dilakukan selama 24 jam pada suhu 37 °C. Setelah fermentasi selesai, krim keju disaring pada suhu 3–4 °C untuk memisahkan whey dari curd.

Analisis Bakteri Asam Laktat

Viabilitas BAL diamati selama proses fermentasi. Sebanyak 5 gram krim keju dimasukkan ke dalam plastik steril, ditambahkan 45 mL larutan NaCl 0,85%, lalu dihancurkan menggunakan stomacher (Bagmixon 400, Model VW, Interscience). Suspensi tersebut diencerkan secara bertingkat hingga 10⁻⁸ dengan pelarut yang sama. Jumlah total mikroorganisme dengan potensi probiotik ditentukan menggunakan metode *pour plate* dengan menanamkan 100 µL inokulum pada media agar MRS (Oxoid, Basingstoke, UK). Koloni dihitung setelah inkubasi selama 48 jam pada suhu 37 °C, dan hasilnya dinyatakan dalam satuan log jumlah koloni per gram krim keju (log CFU/g) (Tologana et al., 2023).

Analisis Asam Tertitrisasi

Kadar asam tertitrisasi ditentukan menggunakan metode titrasi dengan larutan NaOH 0,1 N dan indikator fenolftalein. Sebanyak 10 mL sampel krim keju ditambahkan dengan 10 mL akuades, kemudian dititrisasi hingga muncul warna merah muda tetap. Hasil titrasi dinyatakan dalam persen asam laktat (%), menggunakan rumus konversi sesuai dengan standar pengujian produk susu fermentasi (Tologana et al., 2023).

$$\text{Asam Tertitrisasi (\%)} = \frac{\text{Volume NaOH (mL)} \times N \text{ NaOH} \times BM \text{ Asam Laktat}}{\text{Volume sampel (mL)} \times 1000} \times 100\%$$

Pengukuran Berat Krim Keju

Berat krim keju ditentukan dengan menimbang massa curd yang diperoleh setelah proses penyaringan selama 24 jam pada suhu 3–4 °C. Penimbangan dilakukan menggunakan timbangan digital presisi, dan hasil dinyatakan dalam satuan gram (g) (Rønholt et al., 2013).

Perhitungan Yield Krim Keju

Rendemen (yield) dihitung untuk menilai efisiensi konversi susu menjadi krim keju menggunakan rumus:

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{Berat krim keju (g)}}{\text{Berat Total Bahan Susu dan Krim (g)}} \times 100\%$$

Berat total bahan susu dan krim diasumsikan sebesar 750 gram. Perhitungan ini mengikuti metode yang digunakan oleh (Ong et al., 2006) dan telah diterapkan dalam evaluasi efisiensi produksi keju segar.

Pengolahan dan Analisis Data

Data uji kadar air dan aktivitas air menggunakan uji *Analisis of Varian* (ANOVA). Jika ANOVA menunjukkan pengaruh perlakuan yang nyata ($p < 0,05$) maka dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Test* untuk mencari perbedaan dari setiap perlakuan.

Hasil dan Pembahasan

Jumlah Bakteri Asam Laktat

Tabel 1 menunjukkan Bakteri Asam Laktat (BAL) krim keju setelah fermentasi selama 24 jam. Jumlah BAL yang terdeteksi tidak sepenuhnya berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi inokulum. Diketahui bahwa pada jam ke-0 jumlah populasi BAL dikondisikan kurang lebih 7 log CFU/g. Perlakuan dengan 1% inokulum menunjukkan jumlah BAL tertinggi sebesar 9,16 log CFU/g, diikuti oleh 5% (9,01 log CFU/g), sedangkan 3% menunjukkan jumlah terendah yaitu 8,68 log CFU/g. Fenomena ini menunjukkan bahwa konsentrasi inokulum yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan populasi akhir yang lebih besar, yang dapat disebabkan oleh kompetisi nutrisi, stres lingkungan seperti penurunan pH yang lebih cepat, atau akumulasi metabolit penghambat (misalnya asam laktat) yang menghambat pertumbuhan lebih lanjut pada inokulum tinggi (Liu et al., 2024). Selain itu BAL yang tumbuh cepat akan mengonsumsi nutrisi yang tersedia secara cepat, yang pada akhirnya dapat membatasi ukuran populasi jika pasokan nutrisi tidak ditambah (Wang et al., 2016).

Tabel 1. Hasil Bakteri Asam Laktat krim keju setelah 24 jam Fermentasi, suhu 37 °C

Inokulum	1%	3%	5%
(Log CFU/gram)	9,16 ^a	8,68 ^b	9,01 ^a

Keterangan: *nilai dengan superskrip huruf kecil yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Studi serupa oleh (Papadimitriou et al., 2016) menunjukkan bahwa ketahanan dan jumlah sel BAL selama fermentasi sangat bergantung pada interaksi antara strain spesifik dan kondisi lingkungan, termasuk kapasitas adaptif terhadap tekanan asam. Hal ini memperkuat interpretasi bahwa pada inokulum 3% dan 5%, penurunan pH yang lebih cepat karena jumlah sel yang melakukan fermentasi lebih banyak yang mengakibatkan memperpendek fase pertumbuhan logaritmik dan meningkatkan laju kematian sel, sehingga menyebabkan total log CFU yang lebih rendah dibandingkan inokulum 1%. Sebaliknya, inokulum 1% memberikan kondisi pertumbuhan yang lebih stabil selama fermentasi, memungkinkan BAL berkembang optimal tanpa mengalami hambatan pertumbuhan akibat stres lingkungan. Hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian (Othman et al., 2017) bahwa terdapat pengaruh dari konsentrasi inokulum terhadap fermentasi bakteri asam laktat (BAL) dan menjadikan penurunan pH sangat signifikan, yang dapat mempengaruhi dinamika pertumbuhan, aktivitas metabolik, dan efisiensi keseluruhan dari proses fermentasi. Efisiensi fermentasi juga dipengaruhi oleh hambatan akibat produk akhir (end-product inhibition), yang dapat menghambat pertumbuhan sel. Penurunan pH yang terlalu curam dapat menghambat pertumbuhan BAL karena akumulasi asam laktat yang tidak terdisosiasi, yang dapat berdifusi ke dalam sel dan mengganggu fungsi metabolik. Dalam kondisi seperti ini, BAL dapat mengalami peningkatan stres seluler dan tingkat kematian yang lebih tinggi, yang pada akhirnya menurunkan jumlah total sel hidup (Reale et al., 2007).

Tabel 2. Hasil pH, Asam Titrasi, Berat Krim Keju dan Yield Krim Keju setelah 24 jam Fermentasi, suhu 37 °C

Inokulum	0%	1%	3%	5%
pH	4,78 ^a	4,63 ^b	4,51 ^c	4,48 ^c
Asam Titrasi (%)	5,85 ^a	7,2 ^b	7,65 ^c	7,65 ^c
Berat Krim Keju (gram)	118,7 ^a	183,5 ^b	198,2 ^c	223,2 ^d
Yield (%)	15,82 ^a	24,46 ^b	26,43 ^c	29,76 ^d

Keterangan: *nilai dengan superskrip huruf kecil yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$).

pH

Penurunan pH merupakan indikator utama aktivitas metabolisme asam laktat dari bakteri selama fermentasi. Pada Tabel 2 menunjukkan penurunan pH terjadi seiring peningkatan konsentrasi kultur probiotik, dari pH 4,78 pada kontrol (0%) menjadi 4,63 (1%), 4,51 (3%), dan pH paling rendah 4,48 pada perlakuan 5%. Meskipun perbedaan antar perlakuan tampak kecil secara numerik, perubahan ini signifikan secara fungsional karena mendekati atau

melewati titik isoelektrik kasein (pH 4,6), yang diperlukan untuk koagulasi optimal dalam produksi krim keju (Munro, 2000). Dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pH akhir dalam fermentasi susu berkorelasi kuat dengan produksi asam organik, terutama asam laktat, yang tidak hanya mengubah pH tetapi juga berperan penting dalam tekstur dan stabilitas produk akhir (Widyastuti dan Febrisiantosa, 2014). Dengan demikian, pH yang lebih rendah pada inokulum 5% mengindikasikan aktivitas fermentasi yang lebih intens, sekaligus menjelaskan terbentuknya struktur curd yang lebih padat.

Sementara itu, pH pada kontrol (0%) juga mengalami penurunan hingga mencapai 4,78, meskipun tidak diberikan inokulum. Adanya penurunan pH ini dimungkinkan oleh mikroorganisme endogen yang bersifat tahan panas, seperti *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Enterococcus faecium*, atau spesies *Leuconostoc* yang dikenal sebagai bakteri asam laktat alami pada susu dan mampu bertahan setelah pasteurisasi suhu rendah (misalnya 65 ° C selama 30 menit) (Parente et al., 2020). Namun, karena susu dalam penelitian ini telah dipasteurisasi, keberadaan mikroba patogen seperti *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, atau *E. coli* telah dieliminasi. Mikroba yang tumbuh selama fermentasi dalam kondisi tersebut kemungkinan besar merupakan flora non-patogen dan berasal dari bakteri asam laktat residu yang secara alami toleran terhadap panas (Parente et al., 2020). Hal ini menjelaskan bahwa pH pada kontrol tetap menurun secara terbatas, meski tanpa inokulum aktif, namun penurunan tersebut tidak sebesar perlakuan dengan starter probiotik yang menghasilkan metabolit asam secara konsisten dan dalam jumlah lebih besar.

Asam Titrasi

Kadar asam titrasi merupakan indikator utama akumulasi asam organik, terutama asam laktat, yang dihasilkan oleh bakteri asam laktat selama proses fermentasi. Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa asam titrasi meningkat seiring dengan penambahan kultur probiotik: dari 5,85% pada kontrol (tanpa inokulum), menjadi 7,20% pada inokulum 1%, dan mencapai 7,65% pada inokulum 3% serta 5%. Nilai yang lebih tinggi pada perlakuan inokulum 1%, 3% dan 5% dibanding kontrol (0%) menunjukkan aktivitas fermentatif yang lebih intensif dari kultur probiotik dalam mengubah laktosa menjadi asam laktat. Nilai asam titrasi pada 3% dan 5% menunjukkan angka yang identik, menandakan bahwa pada titik tertentu, laju produksi asam mencapai ambang jenuh di mana peningkatan jumlah inokulum tidak lagi meningkatkan produksi asam secara signifikan. Hal ini sejalan dengan studi oleh (Prasanna et al., 2014), yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi inokulum di atas titik optimal tidak selalu berkorelasi langsung dengan akumulasi asam, karena keterbatasan substrat dan efek umpan balik negatif dari akumulasi asam itu sendiri yang dapat menghambat aktivitas sel.

Pada kontrol tanpa penambahan kultur, terbentuknya asam titrasi sebesar 5,85% menunjukkan adanya aktivitas fermentasi oleh flora mikroba residu yang berasal dari bakteri asam laktat alami tahan panas, seperti *Lactococcus lactis* dan *Leuconostoc mesenteroides*, yang dapat bertahan pascapasteurisasi (Parente et al., 2020). Namun, aktivitas lebih rendah dibandingkan starter yang diinokulasikan secara langsung, yang memiliki viabilitas dan metabolisme lebih terkontrol. Hasil yang menunjukkan bahwa inokulum 1% menghasilkan asam titrasi 7,2% mengindikasikan bahwa starter mampu mempercepat dan mengefisienkan proses konversi laktosa menjadi asam laktat. Meskipun 5% menunjukkan nilai setara dengan 3%, kemungkinan disebabkan oleh kondisi lingkungan fermentasi seperti pH rendah dan akumulasi asam yang mulai menghambat pertumbuhan dan metabolisme lebih lanjut pada konsentrasi inokulum tinggi, yang telah dilaporkan oleh (Papadimitriou et al., 2016).

Korelasi antara pH dan Asam Titrasi

Data penelitian ini menunjukkan korelasi negatif antara nilai pH dan kadar asam titrasi (TA), di mana peningkatan kadar asam titrasi seiring bertambahnya konsentrasi inokulum diikuti dengan penurunan nilai pH. Perlakuan kontrol (tanpa inokulum) memiliki nilai pH 4,78 dengan asam titrasi 5,85%, sementara perlakuan inokulum 1% menghasilkan pH 4,63 dengan TA 7,20%, dan baik inokulum 3% maupun 5% menghasilkan TA identik sebesar 7,65% dengan pH masing-masing 4,51 dan 4,48. Fenomena ini menunjukkan bahwa produksi asam organik, khususnya asam laktat oleh bakteri asam laktat (BAL), menjadi faktor utama penurunan pH selama fermentasi.

Studi sebelumnya mendukung hasil penelitian ini yang menyatakan bahwa akumulasi asam laktat menurunkan pH secara progresif selama fermentasi susu, dan kadar asam titrasi merupakan representasi kuantitatif dari asam organik yang terbentuk (Munro, 2000). Hal serupa juga ditunjukkan oleh (Papadimitriou et al., 2016), di mana fermentasi intensif oleh kultur BAL meningkatkan TA dan menurunkan pH sebagai hasil konversi laktosa menjadi asam laktat. Dalam penelitian lain, (Lebdoyono et al., 2024) menunjukkan adanya korelasi signifikan antara pH dan TA selama fermentasi yoghurt menggunakan kultur campuran probiotik, dengan koefisien korelasi negatif tinggi ($r = -0.98$), menandakan bahwa semakin banyak asam yang terbentuk, semakin rendah nilai pH. Nilai pH pada akhir fermentasi juga sangat dipengaruhi oleh kapasitas buffer susu, sehingga meskipun TA mencapai angka maksimum, pH dapat tetap dalam rentang sempit jika sistem sudah mendekati titik keseimbangan isoelektrik kasein sekitar pH 4,6 (Atanasova et al., 2014). Dengan demikian, data ini tidak hanya menunjukkan efektivitas kultur probiotik dalam meningkatkan akumulasi asam, tetapi juga memperlihatkan bahwa konsentrasi inokulum 3% dan 5% mencapai titik optimal fermentasi, di mana pH mendekati nilai kritis untuk koagulasi, sementara asam titrasi tidak meningkat lebih lanjut karena keterbatasan substrat atau efek umpan balik dari lingkungan asam.

Berat Hasil Penyaringan Krim Keju

Hasil penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa berat krim keju yang diperoleh setelah fermentasi selama 24 jam meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi inokulum. Berat krim keju terendah diperoleh pada kontrol tanpa penambahan kultur (118,7 gram), kemudian meningkat menjadi 183,5 gram pada inokulum 1% (A), 198,2 gram pada 3% (B), dan tertinggi sebesar 223,2 gram pada inokulum 5% (C). Peningkatan berat krim keju ini mencerminkan efisiensi koagulasi yang semakin baik pada inokulum yang lebih tinggi, yang berkaitan langsung dengan produksi asam laktat yang menurunkan pH hingga mendekati titik isoelektrik kasein (pH 4,6). Pada titik tersebut, partikel kasein mengalami agregasi maksimal dan membentuk struktur curd yang padat, sehingga lebih banyak padatan susu terperangkap dalam matriks keju (Atanasova et al., 2014).

Koagulasi yang optimal juga berpengaruh terhadap retensi air dan lemak dalam kurd. Studi oleh (Eminoğlu, 2024; María et al., 2023) menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas asidifikasi oleh kultur starter berkontribusi terhadap pembentukan jaringan protein yang lebih stabil dan kompak, yang mampu mengikat air dan lemak secara lebih efisien dalam matriks krim keju, sehingga berat akhir produk meningkat. Dalam penelitian ini, perlakuan dengan inokulum 5% menghasilkan berat tertinggi karena laju penurunan pH dan produksi asam tertitrasi yang cepat menciptakan lingkungan ideal untuk koagulasi sempurna dan sineresis optimal. Sebaliknya, kontrol tanpa inokulum memiliki berat produk terendah, menunjukkan bahwa koagulasi spontan oleh mikroflora endogen tidak cukup untuk membentuk kurd yang efisien dan stabil, sehingga sebagian besar padatan hilang bersama whey selama proses penyaringan.

Selain itu, peningkatan berat krim keju juga bisa dikaitkan dengan peningkatan viskositas akibat pembentukan matriks protein yang lebih kompleks pada fermentasi intensif. Studi oleh (Eminoğlu, 2024) pada sistem keju segar menyebutkan bahwa fermentasi dengan konsentrasi kultur tinggi mampu meningkatkan retensi kelembaban hingga 10–15% lebih banyak dibanding konsentrasi inokulum rendah. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi inokulum yang digunakan, semakin besar kemampuan sistem untuk membentuk struktur krim keju dengan berat lebih besar, baik karena peningkatan padatan total maupun retensi kelembaban yang lebih tinggi.

Yield Krim Keju

Yield atau rendemen krim keju merupakan parameter penting yang mencerminkan efisiensi konversi susu menjadi produk akhir. Berdasarkan hasil penelitian, pada tabel 2 menunjukkan yield krim keju meningkat secara signifikan seiring bertambahnya konsentrasi inokulum: dari 15,82% pada kontrol (tanpa inokulum), menjadi 24,46% pada inokulum 1%, 26,43% pada 3%, dan mencapai maksimum 29,76% pada perlakuan 5%. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kultur probiotik mampu meningkatkan efisiensi pembentukan kurd dan mempertahankan lebih banyak komponen padat dan cair (terutama air dan lemak) dalam produk krim keju.

Peningkatan yield ini berkaitan erat dengan penurunan pH dan peningkatan asam tertitrasi yang lebih besar pada perlakuan inokulum tinggi. Penurunan pH ke dekat titik isoelektrik kasein (pH 4,6) menyebabkan koagulasi protein yang optimal, menghasilkan kurd dengan struktur lebih rapat dan retensi massa yang lebih tinggi. Studi yang dilakukan oleh (Ong et al., 2006) menyatakan bahwa kondisi fermentasi dengan kultur probiotik menghasilkan yield keju yang lebih tinggi dibanding tanpa inokulum atau dengan inokulum rendah, hal ini disebabkan karena metabolisme asam yang efisien mempercepat dan menyempurnakan pembentukan matriks protein. Selain itu, fermentasi yang intensif membantu meningkatkan kapasitas kurd untuk mengikat air dan lemak, dua komponen utama yang memengaruhi berat dan yield krim keju.

Faktor lain yang juga memengaruhi yield adalah kemampuan kultur probiotik dalam membentuk eksopolisakarida (EPS) selama fermentasi. EPS dapat meningkatkan viskositas dan stabilitas jaringan protein dalam kurd, sehingga menurunkan kehilangan cairan saat penyaringan. Beberapa strain *Lactobacillus* diketahui mampu menghasilkan EPS dalam jumlah signifikan yang berkontribusi terhadap peningkatan yield dan tekstur yang lebih lembut pada produk keju (María et al., 2023; Widyastuti & Febrisiantosa, 2014). Dengan demikian, hasil tertinggi pada inokulum 5% (29,76%) menunjukkan bahwa jumlah kultur yang optimal tidak hanya mempercepat fermentasi tetapi juga memperbaiki karakteristik fisik dan fungsional dari krim keju. Sebaliknya, yield pada kontrol yang hanya 15,82% menunjukkan bahwa fermentasi spontan oleh mikroflora residu tidak cukup menghasilkan koagulasi dan retensi massa yang efektif. Hal ini sejalan dengan temuan (Parente et al., 2020), bahwa flora endogen pasca-pasteurisasi tidak memiliki aktivitas fermentatif seefisien kultur probiotik terpilih, sehingga proses koagulasi cenderung tidak optimal dan banyak padatan terbuang bersama whey.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penambahan kultur bakteri asam laktat probiotik mampu meningkatkan rendemen (yield) krim keju secara signifikan. Inokulum 5% memberikan hasil terbaik dengan yield sebesar 29,76%, jauh lebih tinggi dibanding kontrol tanpa inokulum. Peningkatan rendemen ini dicapai melalui fermentasi yang lebih efisien, ditandai dengan penurunan pH dan peningkatan kadar asam tertitrasi yang mendukung koagulasi optimal. Hasil ini menegaskan bahwa pemanfaatan BAL probiotik dapat menjadi strategi efektif untuk mengoptimalkan proses fermentasi, meningkatkan efisiensi produksi, serta mendukung diversifikasi produk susu segar menjadi pangan fungsional bernilai tambah seperti krim keju probiotik.

Daftar Pustaka

- Adrianto, R., Wiraputra, D., Jyoti, M. D., & Zulaika, A. (2020). *SAPI DENGAN PENAMBAHAN RENNET DAN STARTER BAL YOGHURT BLOKUL (Soft Cheese Yield , Flavor , Taste , Overall Texture Made of Cow ' s Milk Added Rennet and Lactid Acid Bacteria Yoghurt Biokul)*. 13(2).
- Araujo, H. C. S., de Jesus, M. S., Sandes, R. D. D., Leite Neta, M. T. S., & Narain, N. (2024). Functional Cheeses: Updates on Probiotic Preservation Methods. *Fermentation*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/fermentation10010008>
- Atanasova, J., Moncheva, P., & Ivanova, I. (2014). ARTICLE; FOOD BIOTECHNOLOGY Proteolytic and antimicrobial activity of lactic acid bacteria grown in goat milk. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 28(6), 1073–1078. <https://doi.org/10.1080/13102818.2014.971487>
- Aziz, F. N., Utami, T., Suroto, D. A., Yanti, R., & Rahayu, E. S. (2023). Fermentation of pineapple juice with *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* Dad-13: Sensory and microbiological characteristics. *Czech Journal of Food Sciences*, 41(3), 221–229. <https://doi.org/10.17221/243/2022-CJFS>
- Company, J., Pedret, A., Valls, R. M., Solà, R., & Pascual, V. (2021). Fermented dairy foods rich in probiotics and cardiometabolic risk factors: a narrative review from prospective cohort studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(12), 1966–1975. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1768045>
- Eminoğlu, G. (2024). The Impact of Starter Cultures on Quark Type Cheese Production. *Gida The Journal of Food*, 49, 791–804. <https://doi.org/10.15237/gida.GD24060>
- Haertlé, T. (2007). *Hydrolysis of Major Dairy Proteins by Lactic Acid Bacteria from Bulgarian Yogurts*. 31(2007), 680–702.
- Hill, C., Cogan, T. M., & Hill, C. (1993). *Cheese Starter Cultures*. 193–194.
- Homayouni, A., Ansari, F., Azizi, A., Pourjafar, H., & Madadi, M. (2018). Cheese as a Potential Food Carrier to Deliver Probiotic Microorganisms into the Human Gut: A Review. *Current Nutrition & Food Science*, 16(1), 15–28. <https://doi.org/10.2174/1573401314666180817101526>
- Lebdoyono, R., Utami, T., Rahayu, E. S., & Suroto, D. A. (2024). Development of Low-Lactose Probiotic Yogurt Drinks with *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* Dad-13: Physicochemical and Sensory Characteristics. *Applied Food Biotechnology*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.22037/afb.v10i3.41903>
- Liu, Y., Gao, S., Cui, Y., Wang, L., Duan, J., Yang, X., Liu, X., Zhang, S., Sun, B., Yu, H., & Gao, X. (2024). *Characteristics of Lactic Acid Bacteria as Potential Probiotic Starters and Their Effects on the Quality of Fermented Sausages*.
- Lu, C. D. và B. A. M. (2019). Current status, challenges and prospects for dairy goat production in the Americas. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(8), 1244–1255.
- María, I., Susana, R., Justa, S., Poveda, M., & Llanos, M. (2023). Screening of Lactic Acid Bacteria Strains to Improve the Properties of Non - fat Set Yogurt by in situ EPS Production. *Food and Bioprocess Technology*, 16(11), 2541–2558. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03080-7>
- Munro, P. A. (2000). Rheological properties of milk gels formed by a combination of rennet and glucono- δ -lactone. *Journal of Dairy Research*.
- Ong, L., Henriksson, A., & Shah, N. P. (2006). *Development of probiotic Cheddar cheese containing Lactobacillus acidophilus , Lb . casei , Lb . paracasei and Bifidobacterium spp . and the influence of these bacteria on proteolytic patterns and production of organic acid*. 16, 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.05.008>
- Othman, M., Ariff, A. B., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2017). Extractive fermentation of lactic acid in lactic acid bacteria cultivation: A review. *Frontiers in Microbiology*, 8(NOV), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02285>
- Papadimitriou, K., Alegría, Á., Bron, P. A., Angelis, M. De, Gobbetti, M., Kleerebezem, M., Lemos, J. A., Linares, D. M., Ross, P., Stanton, C., Turroni, F., Sinderen, D. Van, Varmanen, P., Ventura, M., Zúñiga, M., & Tsakalidou, E. (2016). Stress Physiology of Lactic Acid Bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80(3), 837–890. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00076-15>.Address
- Parente, E., Ricciardi, A., & Zotta, T. (2020). The microbiota of dairy milk : A review. *International Dairy Journal*, 107, 104714. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104714>
- Prasanna, P. H. P., Grandison, A. S., & Charalampopoulos, D. (2014). Bifidobacteria in milk products : An overview of physiological and biochemical properties , exopolysaccharide production , selection criteria of milk products and health benefits. *Food Research International*, 55, 247–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.013>
- Pretto, D., Marchi, M. De, Penasa, M., & Cassandro, M. (2013). Effect of milk composition and coagulation traits on Grana Padano cheese yield under field conditions. *Journal of Dairy Research*, 80(1), 1–5. <https://doi.org/10.1017/S0022029912000453>
- Rønholt, S., Mortensen, K., & Knudsen, J. C. (2013). The effective factors on the structure of butter and other milk fat-based products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(5), 468–482. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12022>
- Sarıtaş, S., Mondragon Portocarrero, A. del C., Miranda, J. M., Witkowska, A. M., & Karav, S. (2024). Functional Yogurt: Types and Health Benefits. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/app142411798>
- Tologana, R. D., Wikandari, R., Rahayu, E. S., Suroto, D. A., & Utami, T. (2023). Correlation between the chemical, microbiological and sensory characteristics of cream cheese using a mixed and single probiotic culture. *Journal of Food Science and Technology*, 60(1), 181–189. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05603-0>
- Wang, J., Liu, H., Wang, H., Cui, M., Jin, Q., Jin, T., Fu-shun, C., Tai-hua, C., Cheng-yun, L., Kim, B., & Li, G. (2016). Isolation and Characterization of a Protease From the Actinidia Arguta Fruit for Improving Meat Tenderness.

Food Science and Biotechnology, 25(4), 1059–1064. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0171-y>
Widyastuti, Y., & Febrisiantosa, A. (2014). The Role of Lactic Acid Bacteria in Milk Fermentation. *Food and Nutrition Sciences*, 2014(February), 435–442.